

⑯ BUNDESREPUBLIK  
⑯ DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 198 20 734 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
H 01 L 29/872

DE 198 20 734 A 1

⑯ Akt. nzeichen: 198 20 734.4  
⑯ Anmeldetag: 11. 5. 98  
⑯ Offenlegungstag: 18. 11. 99

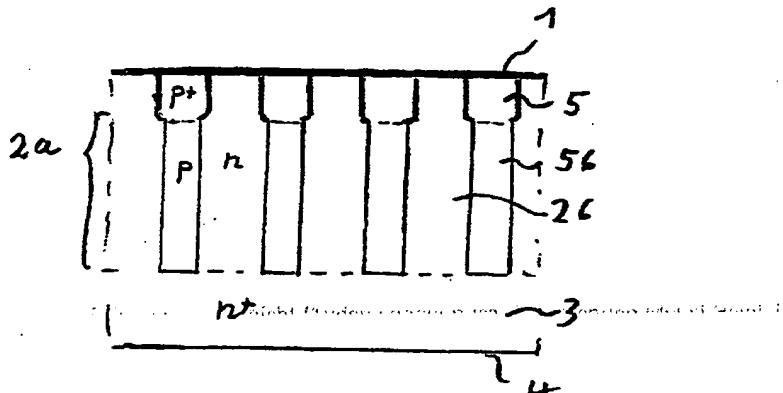
⑯ Anmelder:  
Silber, Dieter, Prof. Dr., 63179 Oberhausen, DE  
⑯ Vertreter:  
Fay und Kollegen, 89073 Ulm

⑯ Erfinder:  
Silber, Dieter, Prof. Dr., 63179 Oberhausen, DE;  
Plikat, Robert, 72800 Eningen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Unipolarer Halbleitergleichrichter

⑯ Die Metall-Halbleiter-Diode besteht aus einer äußeren Metallschicht, die mit einer angrenzenden Halbleiterschicht einen gleichrichtenden Metall-Halbleiter-Übergang bildet. Dabei sind in die den Übergang bildende Metall-Halbleiter-Grenzfläche Gitter- oder Inselstrukturen vom entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp so dicht benachbart eingebracht, daß die dadurch entstehenden pn-Übergänge zusammen mit den Metall-Halbleiter-Übergangsbereichen die Funktion eines "Merged Rectifiers" haben, bei welchem die Raumladungszonen der pn-Übergänge bei hohen Spannungen zusammenwachsen und den Metall-Halbleiter-Kontakt von hohen Feldstärken abschirmen. Die Halbleiterschicht (2), die mit der Metallschicht (1) den spannungsaufnehmenden Metall-Halbleiter-Übergang bildet, ist als alternierend dotierte Schicht (2a) aufgebaut, die, ausgehend von den Gitter- oder Inselstrukturen (5), senkrecht zum Metall-Halbleiter-Kontakt sich erstreckende Schichten oder Säulen (56) vom entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp aufweist. Diese Schichten sind so eng benachbart und so dotiert, daß bei voll ausgedehnter Raumladungszone die mittlere Raumladungskonzentration der Schicht (2a) geringer als der entsprechende niedrigere Wert der Schicht (56) einerseits und der angrenzenden Schicht (26) des entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps andererseits ist.



DE 198 20 734 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Halbleitergleichrichter nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Unipolare Halbleitergleichrichter sind als Metall-Halbleiterdioden (Schottkydioden) bekannt. Sie bestehen aus einer Schicht n- oder p-leitenden Halbleitermaterials und einer darauf aufgebrachten Metallschicht, die in dem Halbleitermaterial eine "Schottky-Barriere" ausbildet. Eine solche Barriere behindert den Stromfluß in einer Richtung, läßt ihn aber in der anderen Richtung zu, wenn eine Schwellspannung angelegt wird, die typisch etwa 30% der Bandabstandsspannung übertrifft, also z. B. 0,35 Volt bei Silizium mit einem Bandabstand von 1,1 Elektronenvolt. Damit ein Metall mit einem Halbleiter eine Schottkybarriere bildet, müssen Material- und Grenzflächenbedingungen erfüllt sein, die aus der Lehrbuchliteratur bekannt sind. Jedenfalls sind viele Materialkombinationen in der Anwendung.

Gegenüber Halbleiterdioden mit pn-Übergängen haben die Schottkydioden in verschiedenen technischen Anwendungen Vor- und Nachteile. Vorteilhaft sind:

- Die Schwellspannung ist niedriger als die von pn-Dioden.
- Bei Stromfluß entsteht im Halbleiter praktisch keine Speicherladung aus Minoritätsladungsträgern, die bei pn-Dioden das Hochfrequenzverhalten beeinträchtigt und beispielsweise beim schnellen Umschalten von Durchlaß- in Sperrrichtung Schaltverluste verursacht.

Nachteilig ist, daß sich Schottkydioden aus zwei Gründen schlecht für hohe Sperrfähigkeit eignen:

- Bei Sperrpolung führen die am Schottkyübergang auftretenden hohen Feldstärken zu einem relativ hohen Sperrstrom. Wenn eine hohe Sperrspannung anliegt, entstehen dadurch hohe Verlustleistungen.
- Dioden mit hoher Sperrfähigkeit benötigen eine dicke und schwach leitfähigkeitssdotierte Halbleiterschicht, die im Durchlaßzustand einen unerwünschten ohmschen Serienwiderstand bildet. Dadurch entstehen auch im Durchlaßzustand hohe Verlustleistungen.

Um den erstgenannten Nachteil zu vermindern, wurde eine Kombination von Schottky- und pn-Diode entwickelt, in der der Metall-Halbleiterübergang vor hohen Feldstärken geschützt ist. Dazu werden in engem Abstand gitterförmige pn-Übergänge erzeugt, die bei Sperrpolung der Diode durch Ausbildung von Raumladungszonen den Metall-Halbleiterübergang abschirmen. Damit die Abschirmung effektiv ist, müssen die Gitter so eng benachbart sein, daß schon bei einem geringen Teil der maximalen Sperrspannung die Raumladungszonen der pn-Gitter überlappen. Außerdem ist es vorteilhaft, diese Gitterstrukturen etwas einzusenken, etwa in einer Tiefe, die wenigstens ihrem gegenseitigen Abstand entspricht. Die das Gitter bildenden Streifen (oder Netze oder Inseln) aus entgegengesetzt dotiertem Halbleitermaterial haben eine so hohe Dotierungskonzentration, daß auch bei voller Sperrspannung die Raumladungszone diese Streifen nicht von Ladungsträgern entleert. In der Literatur ist diese Diode als "Merged Rectifier" eingeführt.

Weiterhin ist bekannt, daß das Durchlaßverhalten von unipolaren Bauelementen dadurch zu verbessern, daß man die spannungsaufnehmende Halbleiterschicht durch alternativ dotierte Schichten strukturiert, so daß die mittlere resultierende Dotierungskonzentration geringer ist als die Dotierungskonzentration jeder der alternativ dotierten Schichten und im Idealfall sogar verschwindet. Die Grenzflächen die-

ser alternativ dotierten Schichten sind der Stromflußrichtung parallel. Die Wirksamkeit der Struktur beruht darauf, daß bereits bei einer Sperrspannung unterhalb der maximalen Sperrfähigkeit die Raumladungszonen die alternativen Schichten von Ladungsträgern entleeren, so daß der alternativ dotierte Bereich sich wie ein Bereich mit geringer oder verschwindender Dotierungskonzentration verhält. Außerdem kann im Durchlaßzustand der Bauelemente der Strom mit relativ geringem ohmschen Widerstand fließen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen unipolaren Halbleitergleichrichter der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß eine Verringerung der Sperrströme bei gleichzeitig günstigeren Durchlaßeigenschaften erreicht wird.

Diese Aufgabe wird nach der Erfindung durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 erreicht. Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ergibt sich aus Anspruch 2.

Die durch die Erfindung erzielten Vorteile bestehen im wesentlichen darin, daß bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Halbleitergleichrichters die schon günstige Abschirmwirkung der Gitterstruktur des "Merged Rectifiers" durch die sich anschließende Kompensationsstruktur noch weiter verbessert wird, wodurch die Sperrströme in besonderem Maß verringert werden. Außerdem werden die Durchlaßeigenschaften dieses Gleichrichters noch günstiger.

Im folgenden wird die Erfindung an in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert; es zeigen:

**Bild 1** die Struktur eines Metall-Halbleitergleichrichters (Schottkydiode) in der einfachsten Darstellungsweise,

**Bild 2** die Erweiterung des Gleichrichters nach **Bild 1** zum Merged Rectifier,

**Bild 3** das Prinzip einer alternierend kompensierenden Dotierungsstruktur,

**Bild 4** die Anwendung des Prinzips nach **Bild 3** auf einen Metall-Halbleiter-Gleichrichter,

**Bild 5** die erfindungsgemäße Struktur,

**Bild 6** eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Struktur.

Bei dem in der Zeichnung in **Bild 1** dargestellten Gleichrichter besteht der eigentlich sperrfähige Metall-Halbleiter-Kontakt aus der Metallschicht 1 und der relativ schwach dotierten Halbleiterschicht 2. Die dann angrenzende Schicht 3 ist hoch dotiert, und zwar vom gleichen Leitfähigkeitstyp. Die zweite Metallschicht 4 bildet mit der Schicht 3 einen ohmschen Kontakt.

In einem typischen Ausführungsbeispiel ist die Schicht 2 eine Siliziumschicht mit einer Phosphor-Dotierungskonzentration von  $2 \cdot 10^{14}/\text{cm}^3$  und die Dicke ist etwa 35 Mikrometer. Eine solche Diode könnte ca. 450 V sperren, wenn der Metall-Halbleiter-Übergang nicht die Schwäche der Schottky-Barrier-Erniedrigung hätte, die durch eine hohe Feldstärke am Metall bewirkt wird. Der ohmsche Widerstand dieser Schicht ist allerdings ca. 0,085 Ohm bei einer aktiven Fläche von  $1 \text{ cm}^2$ . Da aber im allgemeinen nur 1,5–2,5 Volt Durchlaßspannung toleriert werden, ist die zulässige Stromdichte auf  $20\text{--}30 \text{ A}/\text{cm}^2$  begrenzt.

**Bild 2** zeigt die Erweiterung des Gleichrichters zum Merged Rectifier. Es sind ca. 5 Mikrometer tiefe und 10 Mikrometer breite, mit der Bezugsziffer 5 bezeichnete Gitter (oder Inseln) mit hoher Dotierung von entgegengesetzter Leitfähigkeit eingebracht, deren Abstand ebenfalls ca. 10 Mikrometer beträgt. Bereits bei wenigen Volt Sperrspannung hat sich um diese Gitter eine Raumladungszone ausgebildet, die den Metall-Halbleiter-Übergang von hohen Feldstärken abschirmt. Die Wirkung wird um so effektiver, je tiefer die Gitterstrukturen im Vergleich zu ihrem Abstand eindringen.

**Bild 3** zeigt das Prinzip der alternierend kompensierenden Dotierungsstruktur, wie sie aus der Patentschrift (US-PS 5 216 275) bekannt ist. Die Halbleiterstruktur besteht aus einer hochdotierten Schicht 55 vom ersten Leitfähigkeitsotyp (beispielsweise p-Typ), dann einer gitterförmig alternativ dotierten Schicht 2a aus Schichten 56 des ersten und 26 des zweiten Leitfähigkeits Typs. Entlang der angedeuteten Schnittlinie A-B verschwindet näherungsweise die resultierende Dotierungskonzentration. Die angrenzende Schicht 3 ist vom zweiten Leitfähigkeitsotyp. Beide Außenschichten 55 und 3 werden durch Metallschichten 11 und 4 mit ohmschen Kontakten versehen. Die besondere Wirkung der Schicht 2a besteht darin, daß sie sich bei Sperrpolung der Gleichrichterstruktur wie eine Schicht mit verschwindender Dotierungskonzentration verhält. Bedingung ist allerdings, daß die Schichten bereits bei geringer Sperrspannung von Ladungsträgern entleert sind.

**Bild 4** zeigt die Anwendung dieses Prinzips auf einen Metall-Halbleiter-Gleichrichter. Da bei Einhaltung der Kompensationsbedingung die Schichten 56 und 26 relativ stark dotiert sein können, wird der Strom in den Schichten 26 mit relativ geringen ohmschen Verlusten geführt. Weiterhin bestehen aber an den Metall-Halbleiter-Übergängen relativ hohe Feldstärken, die das Sperrverhalten verschlechtern.

**Bild 5** zeigt die erfundungsgemäße Struktur. Sie besteht aus einem Merged Rectifier, ähnlich wie in **Bild 2** mit stark dotierten Abschirm-Gitter- oder Inselstrukturen 5. Diese Strukturen werden durch Schichten 56 ergänzt, die nun mit Schichten 26 vom entgegengesetzten Leitfähigkeitsotyp eine kompensierende Struktur bilden. Daran schließen sich, wie in **Bild 2**, die Schicht 3 und die Metallschicht 4 an.

In einer typischen Ausgestaltung ist die Schicht 2a ca. 50 Mikrometer ausgedehnt, während die vertikalen Schichten 56 ca. 8 Mikrometer dick und im Mittel etwa  $10^{15}/\text{cm}^3$  dotiert sind. Die Schichten 26 sind etwa doppelt so dick und halb so hoch dotiert.

Viel günstigere Bedingungen ergeben sich, wenn die Strukturen 5 und 56 vertikale Säulen bilden, die in quadratischem oder sechseckförmigem Raster in die Schicht 26 eingebracht sind. Die Säulen können dann viel dicker sein, ohne daß zuviel Flächenanteil für die Leitfähigkeit verloren geht. Die Herstellung wird dadurch erheblich vereinfacht. Die Sperrfähigkeit beträgt dann über 600 V bei einem Serienwiderstand von ca. 60 Milliohm. Wird eine Sperrfähigkeit von nur ca. 450 V angestrebt (Beispiel **Bild 2**), so beträgt der Serienwiderstand nur ca. 30 Milliohm, also eine Verbesserung um ca. Faktor 3. Durch engere Ausgestaltung der Struktur kann die Dotierungskonzentration jeweils erhöht werden, so daß noch günstigere Durchlaßwerte erreichbar sind.

Die erfundungsgemäße vorteilhafte Wirkung wird aber bereits dann teilweise erreicht, wenn die Abschirmstruktur in einer kontinuierlich abnehmenden Dotierungskonzentration in die Schicht 2a eingesenkt wird (**Bild 6**). Dies erleichtert erheblich die Herstellung.

Die Herstellung der Strukturen nach **Bild 5** und 6 kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- a) Die Bereiche 56 und 5 werden durch tiefe Ätzungen mit hohem Aspektverhältnis hergestellt, beispielsweise durch reaktives Ionenätzen (Trench-Ätzungen). Diese Trenches werden durch Epitaxieprozesse wieder aufgefüllt.
- b) Die Schichten 2a können auch durch mehrere aufeinanderfolgende Epitaxieschritte mit lokaler Dotierung durch maskierte Ionenimplantation hergestellt werden, wobei die lokal dotierten Bereiche durch spä-

tere Hochtemperaturprozesse ausdiffundieren und zusammenwachsen.

#### Patentansprüche

1. Metall-Halbleiter-Diode mit einer äußeren Metallschicht, die mit einer angrenzenden Halbleiterschicht einen gleichrichtenden Metall-Halbleiter-Übergang bildet, wobei in die den Übergang bildende Metall-Halbleiter-Grenzfläche Gitter- oder Inselstrukturen vom entgegengesetzten Leitfähigkeitsotyp so dicht benachbart eingebracht sind, daß die dadurch entstehenden pn-Übergänge zusammen mit den Metall-Halbleiter-Übergangsbereichen die Funktion eines "Merged Rectifiers" haben, bei welchem die Raumladungszonen der pn-Übergänge bei hohen Spannungen zusammenwachsen und den Metall-Halbleiter-Kontakt von hohen Feldstärken abschirmen, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2), die mit der Metallschicht (1) den spannungsaufnehmenden Metall-Halbleiter-Übergang bildet, als alternierend dotierte Schicht (2a) aufgebaut ist, die, ausgehend von den Gitter- oder Inselstrukturen (5), senkrecht zum Metall-Halbleiterkontakt sich erstreckende Schichten oder Säulen (56) vom entgegengesetzten Leitfähigkeitsotyp aufweist, wobei diese Schichten so eng benachbart und so dotiert sind, daß bei voll ausgedehnter Raumladungszone die mittlere Raumladungskonzentration der Schicht (2a) geringer als der entsprechende niedrigere Wert der Schicht (56) einerseits und der angrenzenden Schicht (26) des entgegengesetzten Leitfähigkeits Typs andererseits ist.
2. Metall-Halbleiter-Diode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierungskonzentration und/oder die Querschnittsfläche der vertikalen Schichten (56) mit wachsendem Abstand von der Metall-Halbleiter-Grenzfläche abnehmen.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Bild 1:

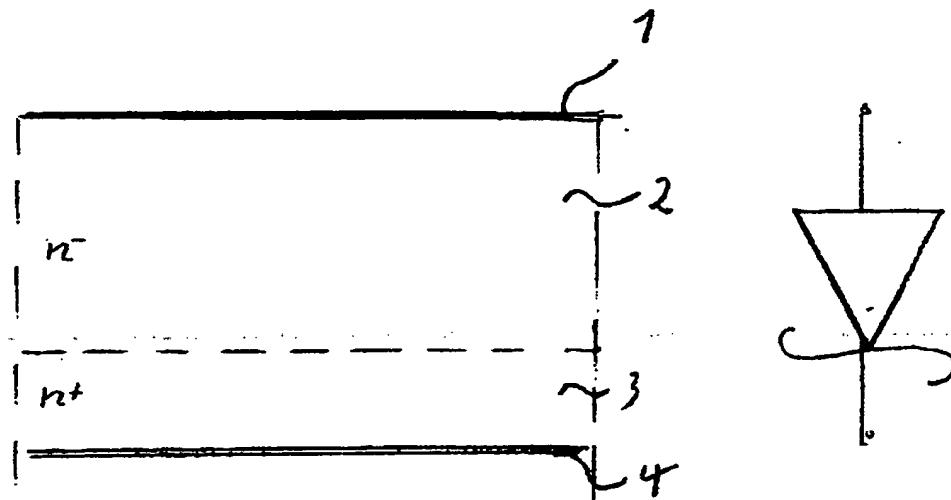


Bild 2:

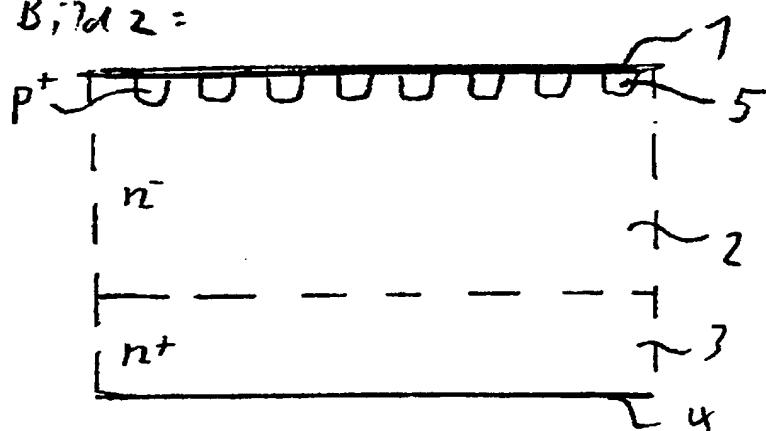


Bild 3:

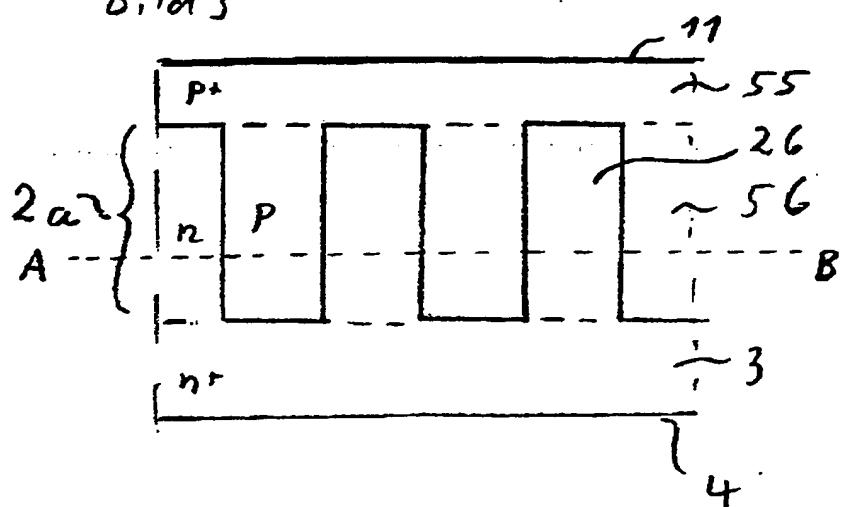


Bild 4

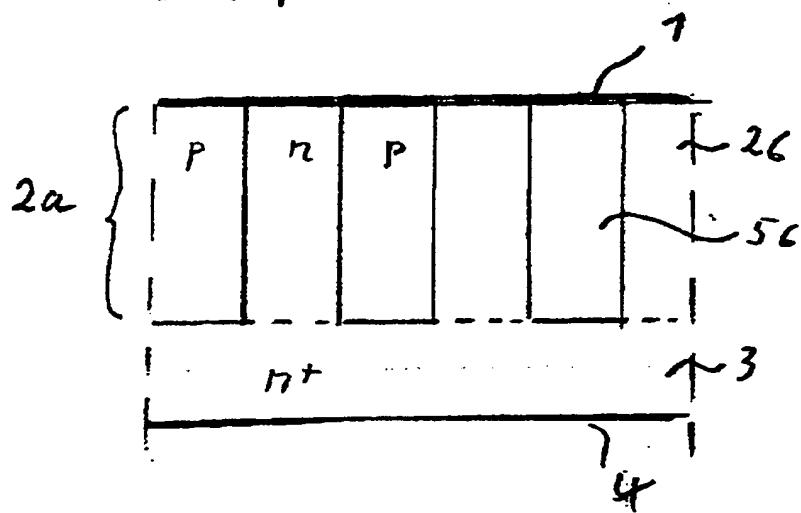


Bild 5

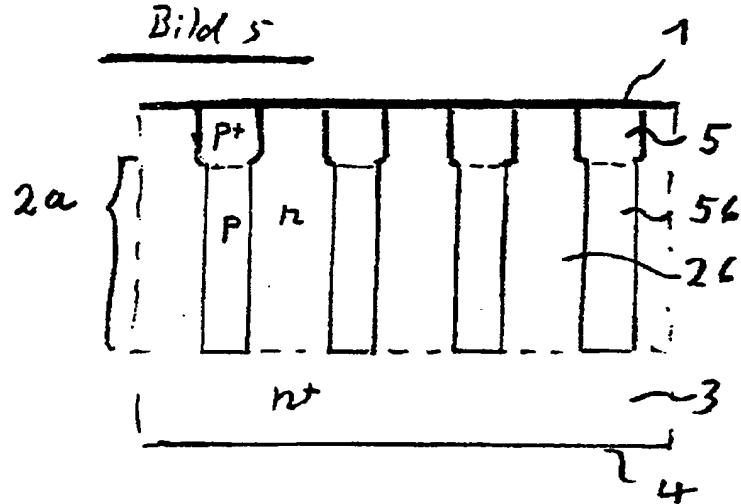


Bild 6

